

c) Os teores médios de fósforo do solo recuperados pelo método de Mehlich, após dois anos de incorporação dos fosfatos, foram de 10% para o superfosfato triplo, 14% para o fosfato-de-gafsa e 18% para o fosfato-de-patos-de-minas.

LITERATURA CITADA

- ABRÃO, J.R. - Efeito da aplicação de fósforo de diferentes fontes fosfatadas sobre a produção de soja. *In: Contribuição da FECOTRIGO à III Reunião Conjunta de Pesquisas da Soja, RS/SC. Porto Alegre, 1975. (Mimeografado).*
- BORKERT, C.M.; CORDEIRO, D.S.; SFREDO, G.J.; PALHANO, J.B.; DITTRICH, R.C. - Efeito de doses de fósforo de diferentes fosfatos naturais brasileiros na produção da soja, em condições de primeiro cultivo. I Seminário Nacional de Pesquisa de Soja. Londrina, PR, 1978. (Mimeografado).
- BRASIL. Divisão de Pesquisa Pedológica - Levantamento de Reconhecimento dos solos do Sul de Mato Grosso, Ministério da Agricultura, 1971. Boletim Técnico 18.
- CHU, C.R.; MOSCHLER, W.W.; THOMAS, G.W. - Rock phosphate transformation in acid soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26: 476-478, 1962.
- COMPANHIA RIOGRANDENSE DE ADUBOS. - Resultados analíticos do superfosfato granulado, hiperfosfato-pó e fosfato-de-patos-de-minas. Análise de laboratório. 4 de agosto/1976. Porto Alegre, 1976.
- DYNIA, J.F. - Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo dos solos na eficiência de adubos fosfatados. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.
- FONTOURA, J.U.G. - Considerações sobre plantio direto no Sul de Mato Grosso. *In: Reunião sobre plantio direto, agosto/77, Londrina, PR, 1977. (Mimeografado).*
- GOEPFERT, C.F.; GONÇALVES, H.; CUNHA, G.M.; TEDESCO, A.; MOURA, R.L.; SUENDSEN, E.R.; OLIVEIRA, F.C.; GONÇALVES, J.C. - Experimentos de fontes e níveis de adubos fosfatados na cultura da soja. *In: Reunião da Comissão Técnica da Soja, Porto Alegre, Secretaria da Agricultura do RS, 1972.*
- GOEPFERT, C.F.; ZANOTELI, W.; TEDESCO, A.; MOURA, R.L.; RODRIGUES, A.E.C. - Experimento de fontes de fósforo em adubação corretiva e de manutenção. *In: II Reunião Anual Conjunta de Pesquisa de Soja, Porto Alegre, 1974.*
- GOEPFERT, C.F.; TEDESCO, A.; MOURA, R.L. - Experimento de cinco fontes de fósforo em adubação de correção e de manutenção na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em solo Santo Angelo. *In: III Reunião Conjunta de Pesquisa de Soja, RS/SC, IPAGRO, Porto Alegre, 1975.*
- GOEPFERT, C.F. & MOURA, R.L. - Informe preliminar sobre o efeito de superfosfato triplo, de Rhenania e fosfato-de-gafsa aplicados em seis níveis de P_2O_5 , sobre a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em solo Bom Retiro. *In: IV Reunião Conjunta da Pesquisa da Soja, RS/SC, Santa Maria, RS, 1976.*
- GOEPFERT, C.F.; MOURA, R.L.; HILGERI, E.; WOLFFENBÜTTEL, R. - Informe preliminar sobre o efeito da aplicação de superfosfato triplo, fosfato-de-patos e fosfato-de-gafsa em seis níveis de P_2O_5 sobre a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em solo Passo Fundo. *In: V Reunião Conjunta de Pesquisa de Soja, RS/SC, Pelotas, RS, 1977.*
- GRIMM, S.S. & FOLE, D.A. - Calibração de métodos químicos para fósforo em função da máxima eficiência econômica. *Agron. Sulriogr.*, VIII: 195-206, 1972.
- MACHADO, M.O. - Efeito de diferentes adubos fosfatados e de calcário sobre o rendimento de soja e sobre algumas características químicas de um planossolo. *In: III Reunião Conjunta de Pesquisa de Soja, RS/SC, Porto Alegre, RS, 1975. 15p. (Mimeografado).*
- SIQUEIRA, O.J.F.; BORKERT, C.M.; KOCHHANN, R.A.; BARTZ, H.R. - Informe sobre o comportamento de tipos de adubo fosfatado, de diferente teor de P solúvel, como fonte de fósforo para adubação corretiva, de manutenção ou de cultivo, na sucessão cultural trigo e soja. *In: Reunião Anual Conjunta de Pesquisa de Trigo. Passo Fundo, RS, 1975.*

ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA A CULTURA DA SOJA (*Glycine max* (L.) MERRILL) BASEADA NO FÓSFORO «DISPONÍVEL» EM DIFERENTES EXTRATORES QUÍMICOS E NO «FATOR CAPACIDADE» ⁽¹⁾

F.M. FREIRE ⁽²⁾; R.F. NOVAIS ⁽³⁾; J.M. BRAGA ⁽³⁾; G.E. FRANÇA ⁽⁴⁾; H.L. SANTOS ⁽⁴⁾ & P.R.R.S. SANTOS ⁽²⁾

RESUMO

Em experimentos realizados em quatro municípios do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, testaram-se quatro níveis de calcário, correspondentes às dosagens de 0, 1, 2 e 3 vezes a quantidade recomendada pelo método SMP. Aplicou-se o fósforo a lanco nas doses de 0, 200, 400, 600 e 800 kg/ha de P_2O_5 . O cultivar utilizado foi o «santa-rosa», sendo plantado também num local, o «IAC-2». O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com tratamentos num esquema fatorial, com parcelas subdivididas: calcário na parcela e fósforo na subparcela. Para o local onde foram plantados dois cultivares, estes ocuparam a posição das subparcelas. Após a colheita, em cada subparcela ou subsubparcela, foi feita uma amostragem de solo, determinando-se o P «disponível», pelos extratores de Mehlich, Bray-2 e Bray-Kurtz modificado.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em novembro de 1978 e aprovado em maio de 1979.
⁽²⁾ Engenheiros Agrônomos, Pesquisadores da EPAMIG.

⁽³⁾ Professores Titulares do Departamento de Solos da U.F.V.
⁽⁴⁾ Engenheiros Agrônomos, Pesquisadores da EMBRAPA.

Ajustaram-se equações de regressão múltipla para produção, como variável dependente de fósforo e calcário. Destas, foram obtidas as quantidades de P que proporcionaram as produções máximas. Calcularam-se equações lineares que mostram a relação entre o P recuperado pelos extratores e o P aplicado. De posse dessas informações, chegou-se aos níveis críticos de P para cada solo e para a cultura estudada. Esses níveis correlacionaram-se, significativamente com parâmetros que refletem o fator capacidade de P do solo, tais como teores de areia e argila, água retida a 1/3 e a 15 bar de tensão. As declividades das retas que traduzem a relação entre o P recuperado pelos extratores e o P aplicado também se correlacionaram significativamente com os parâmetros citados. Com essas informações, sugerem-se recomendações de adubação fosfatada para os solos das regiões estudadas.

SUMMARY: RECOMMENDATION OF P FERTILIZATION OF SOYBEAN (*Glycine max* (L.) MERRILL) BASED ON THE «AVAILABLE» P IN DIFFERENT CHEMICAL EXTRACTANT SOLUTIONS AND IN THE «CAPACITY FACTOR»

Data from four experiments carried out in the «Triângulo Mineiro» and «Alto Paranaíba» regions of Minas Gerais State were analysed.

Four levels of liming, corresponding to 0, 1, 2 and 3 fold the recommended rate the SMP method were tested. Phosphorus, as concentrated superphosphate was applied in rates of 0, 200, 400, 600 e 800 kg/ha. The cultivar «santa-rosa» was tested, and in one of the experiments «IAC-2» was also tested. The treatments were distributed in a factorial scheme in a randomized block experimental design. Lime was applied in the plots and P in the split-plots. In the experiments where the two cultivars were tested they were sown in split-split-plots. After harvesting, the soils were sampled to determine the available P by the Mehlich, Bray-2 and modified Bray-Kurtz methods.

Multiple regression equations were adjusted taking yield as dependent variable of P and lime, and the rates of P required for the maximum yield were determined. The critical levels of the soil available P were also determined. These critical levels varied among the soils and correlated significantly with soil parameters which reflect the «P capacity factor», such as, sand and clay contents, water held at 1/3 and at 15 bar tensions. The slopes of first degree equations relating the recovered P by the extractant solutions and the applied P correlated also significantly with those capacity factor parameters. From the results, it was possible to recommend P fertilization for the studied soils.

INTRODUÇÃO

No Estado de Minas Gerais, a área de concentração da cultura da soja situa-se nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em solos originalmente sob vegetação de cerrado. A área total com esses solos, da ordem de 308.000 km², corresponde a 17% da área total de cerrados no Brasil e a 53% da estadual (EMBRAPA, 1976).

Apesar de apresentarem condições favoráveis para o desenvolvimento da agricultura, tais solos em função de sua topografia e propriedades físicas, têm como fator limitante a baixa fertilidade (Lopes & Cox, 1976).

Entretanto, para essas regiões, onde a soja é mais cultivada, os trabalhos na área de fertilidade do solo têm sido relativamente poucos; as recomendações de adubação têm sido feitas com base no tradicionalismo, ou, então, na extrapolação de informações de outras regiões. É indiscutível, portanto, a validade do empenho das instituições de pesquisa em desenvolver trabalhos objetivando o melhor aproveitamento desses solos com a soja.

A linha de pesquisa relativa à calibração das análises químicas de solo no Brasil tem despertado o interesse dos pesquisadores (Verdade, F.C.; Venturini, W.R.; Amaral, A.Z. & Wutke, A. C.P., 1966; Fonseca; Dias; Pinto; Pires, 1968; Vidor & Freire, 1971; Grimm & Fole, 1972 e van Raij & Mascarenhas, 1975). Apesar de todo o es-

forço que vem sendo desenvolvido no sentido de melhorar a interpretação dos resultados analíticos de amostras de solos, há ainda muito por fazer. Uma simples determinação de P em laboratório, segundo Mattingly (1965), não é bastante para predizer, com segurança, a quantidade desse elemento que o solo pode suprir. Em consequência desse empirismo, admite-se que a extrapolação de uma recomendação de adubação fosfatada obtida num solo para outros seja, frequentemente, inadequada (Novais, 1977).

A variação dos níveis críticos de P em função da textura do solo é citada na literatura. Trabalho realizado por Martens; Lutz; Jones (1969), mostrou ser o nível de P extraível pelo fluoreto ácido de amônio (Bray-1), necessário para a produção máxima de aveia, inversamente correlacionado com o conteúdo de argila dos solos. Os níveis críticos obtidos foram 14,3, 51,5 e 48,9 ppm de P respectivamente para os solos Davidson (39,2% de argila), Groseclose (25,9% de argila) e Wellston (16,2% de argila).

Em três ensaios conduzidos nos solos de Passo Fundo, Erechim e Santo Ângelo, Vidor & Freire (1971) verificaram que a percentagem de disponibilidade, para soja, do fósforo aplicado foi dependente da textura. Nos solos argilosos, a percentagem de recuperação do fósforo disponível, oito meses após a aplicação, foi de 8 a 12% ao passo que no franco-argiloso foi de aproximadamente 28%. Os níveis críticos de P foram de 8-10 ppm para os solos argilosos e de 20-25 ppm para os franco-argilosos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Novais (1977), que estudou a variação do fósforo «disponível» de cinco solos, no extratores de Carolina do Norte (NC), Bray-1 e Olsen, com cultivos sucessivos de painço. Após o sexto cultivo, verificou-se que o solo Georgeville ainda apresentava um nível de P, no extrator de NC, de 8,1 ppm, suficiente para manter altas produções, como as obtidas nos cultivos anteriores. Entretanto, para o solo Wagram, o nível de P no extrator de NC, de 27,9 ppm, após o quinto cultivo, não era suficiente para manter uma produção adequada. Os teores de argila nos solos Georgeville e Wagram foram de 42,4% e 5,4%, respectivamente. Isso sugere, segundo esse autor, uma variação nos níveis críticos de acordo com o fator capacidade de P dos solos, para obtenção das produções máximas.

Conhecidos os problemas concernentes à interpretação dos resultados analíticos para P, Novais (1977) mostrou a necessidade de informações relativas ao «fator capacidade» de P do solo (PBC, adsorção máxima de P, percentagem de argila etc.), além do P em extratores químicos, como critério de recomendação da adubação fosfatada dos solos.

Este trabalho tem por objetivo fornecer subsídios que permitam a obtenção de níveis críticos de P no solo e sugerir recomendações de adubação fosfatada para a cultura da soja nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

MATERIAL E MÉTODOS

Usaram-se dados provenientes de trabalhos experimentais realizados em quatro municípios das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em solos com diferentes características químicas e físicas (Quadro 1).

Quadro 1. Análises químicas e físicas de amostras dos solos onde foram instalados os ensaios.

Características analisadas	Locais e solos			
	Patrocínio LE (5)	Monte Carmelo LE (5)	Sacramento LRd (6)	Uberaba LEm (7)
pH - H ₂ O (1: 2,5)	5,0	5,0	4,7	4,8
Acidez trocável - meq/100g (1)	0,70	1,28	0,72	2,16
Acidez titulável - meq/100g (2)	5,50	5,44	5,91	3,10
Ca ⁺² - meq/100g (1)	0,20	1,12	0,72	2,00
Mg ⁺² - meq/100g (1)	0,10	0,30	0,64	0,80
K ⁺ - meq/100g (3)	0,13	0,27	0,29	0,38
P - ppm (3)	1	1	1	4
M.O. - % (4)	2,1	2,0	1,7	0,7
Areia - %	17,2	33,2	18,2	79,2
Silte - %	8,0	3,0	16,0	2,0
Argila - %	74,8	63,8	65,8	18,8
Água retida a 1/3 bar de tensão - %	26,67	23,75	24,16	7,04
Água retida a 15 bares de tensão - %	22,09	21,18	20,79	5,86

(1) Extrato KCl 1 N; (2) Obtido com acetato de cálcio 1 N pH 7; (3) Obtido com extrato de Mehlich; (4) Método - Walkley - Black; (5) Latossolo Vermelho-Escuro; (6) Latossolo Roxo Distrófico; (7) Latossolo Vermelho-Escuro, textura média.

Para Patrocínio, Monte Carmelo e Sacramento, onde foi plantado apenas o cultivar «santa-rosa», o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com tratamentos dispostos num esquema fatorial em parcelas subdivididas e repetidas três vezes: o calcário na parcela e, o fósforo, na subparcela. Para Uberaba, onde foram estudados

dois cultivares, «santa-rosa» e «IAC 2», estes ocuparam a posição das subsubparcelas.

A quantidade de calcário recomendada foi baseada no método SMP, sendo usados quatro níveis, correspondentes às dosagens de 0, 1, 2 e 3 vezes a quantidade estabelecida por esse método. O fósforo foi aplicado a lanço, nos níveis 0, 1, 2, 3 e 4 correspondentes às doses de 0, 200, 400, 600 e 800 kg/ha de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo.

Após a colheita, de cada subparcela (locais com apenas um cultivar) ou subsubparcela (local com dois cultivares) foi retirada uma amostra composta, oriunda de 30 simples. Em cada uma delas foi determinado o P «disponível» pelos extratores de Mehlich — H₂SO₄ 0,025 N + HCl 0,05 N (Vettori, 1969), Bray-2 NH₄F 0,03 N + HCl 0,1 N (Bray, 1948) e Bray Kurtz modificado NH₄F 0,1 N + HCl 0,1 N (Grimm & Fole, 1972).

Ajustaram-se equações de regressão múltipla, tomando-se a produção de grãos (Y) como variável dependente de fósforo em kg/ha de P₂O₅ (P) e de calcário em níveis de SMP (C), cujo modelo é o seguinte:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1P + b_2P^2 + b_3C + b_4C^2 + b_5PC$$

A partir das equações, por derivada parcial de P e C, foram estabelecidas as quantidades de P que proporcionaram as produções físicas máximas. Estabeleceram-se também equações lineares que traduzem a relação entre os teores de P recuperados pelos extratores e as quantidades de P₂O₅ aplicadas. De posse dessas informações, chegou-se aos níveis críticos para os locais estudados. Tais níveis foram correlacionados com parâmetros que refletem o «fator capacidade» de P, como teores de areia e argila, água retida a 1/3 e a 15 bar de tensão, no sentido de permitir uma extrapolação dessas informações para outros solos, com algum fundamento teórico. Relações lineares entre os coeficientes angulares das equações lineares entre fósforo recuperado pelo extratores e P₂O₅ aplicado e os parâmetros que refletem o «fator capacidade», citados anteriormente, foram também calculadas. Essas relações, obtidas entre os coeficientes angulares e os parâmetros que refletem o «fator capacidade», possibilitaram obter outros coeficientes angulares para novas condições de solos, que os não estudados neste trabalho, e às quantidades de P₂O₅ a serem aplicadas. Para tanto, dividiram-se as quantidades de P a serem elevadas no solo (nível crítico — P revelado na análise de solo) pelos coeficientes angulares obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de produção foram analisados estatisticamente, sendo ajustadas as seguintes equações de regressão múltipla para produção de grãos, como variável dependente de fósforo (kg/ha de P₂O₅) e de calcário (nível de SMP):

Patrocínio:

$$\hat{Y} = 393,814 + 2,669 P - 0,00237 P^2 + 67,960 C \quad (R^2 = 0,811)$$

Monte Carmelo:

$$\hat{Y} = -549,373 + 8,672 P - 0,00735 P^2 + 1245,950 C - 264,397 C^2 \quad (R^2 = 0,899)$$

Sacramento:

$$\hat{Y} = 1220,130 + 2,851 P - 0,00156 P^2 + 1061,170 C - 191,098 C^2 - 0,424 PC \quad (R^2 = 0,921)$$

Uberaba

«santa-rosa»:

$$\hat{Y} = 422,667 + 3,916 P - 0,00327 P^2 + 653,501 C - 161,300 C^2 \quad (R^2 = 0,802)$$

«IAC-2»:

$$\hat{Y} = 259,224 + 3,806 P - 0,00302 P^2 + 544,360 C - 114,200 C^2 \quad (R^2 = 0,945)$$

Quadro 2. Teores médios de P, obtidos pelos extratores de Mehlich, Bray-2 e Bray-Kurtz modificado, em função dos níveis de P_2O_5 aplicados.

P_2O_5 kg/ha	Patrocínio	Monte Carmelo	Sacramento	Uberaba	
				'Santa Rosa'	'IAC-2'
			ppm		
			Mehlich		
0	1,5	1,5	2,8	2,0	1,5
200	2,8	3,0	5,0	6,5	8,8
400	5,8	6,0	8,2	15,2	13,5
600	12,2	9,2	12,8	23,0	20,2
800	14,0	14,5	14,2	32,0	34,7
			Bray - 2		
0	1,8	1,2	3,6	2,3	1,4
200	4,9	4,4	7,0	9,7	11,0
400	9,5	11,7	12,8	20,6	19,9
600	18,2	17,9	18,5	33,6	36,2
800	21,2	26,4	28,2	47,6	68,2
			Bray-Kurtz modificado		
0	2,1	1,4	5,5	3,3	3,5
200	5,8	5,2	11,4	11,4	15,2
400	10,3	13,4	18,0	28,1	22,8
600	22,2	20,7	27,9	42,8	38,8
800	26,7	29,6	33,8	53,6	63,6

Os coeficientes de regressão de todas as equações foram significativos ao nível de 5%.

Os teores de P obtidos pelos extratores de Mehlich, Bray-2 e Bray-Kurtz modificado, em função dos níveis de P_2O_5 aplicados, encontram-se no quadro 2, sendo esses teores as médias em todos os níveis de calcário. Observa-se que o extrator de Mehlich foi o que extraiu os menores teores de fósforo. Sua menor capacidade de extração se deve, provavelmente, à sua menor acidez e à maior especificidade de seus componentes para a forma de P ligado ao Ca, pouco encontrada nesses solos. Resultados semelhantes foram obtidos por Braga & Defelipo (1972), quando se compararam os teores de P «disponível» obtidos pelos extratores de Carolina do Norte (NC) e Bray-2, na ausência da calagem. A maior capacidade de extração dos outros extratores era es-

perada porque, além de apresentarem maior acidez, contêm o íon fluoreto, bastante eficiente na extração do P ligado a alumínio.

Os teores de P obtidos pelos extratores foram correlacionados com as quantidades de P_2O_5 aplicadas, e equações lineares entre essas variáveis foram ajustadas (Quadro 3). A equação $\hat{Y} = 0,13 + 0,0567x$ (Uberaba - «IAC-2», extrator de Bray-2) foi ajustada empregando apenas os quatro primeiros pontos, porque o último valor de P recuperado (68,2 ppm) não permitiu um ajustamento adequado. Levou-se também em consideração que os quatro valores utilizados abrangiam um intervalo suficiente para o propósito do trabalho.

Pelos valores de fósforo que levam às produções físicas máximas obtidas nas equações de regressão múltipla entre produção, fósforo e

Quadro 3. Coeficientes angular e linear da equação linear do aumento do fósforo «disponível» (ppm), pelos extratores de Mehlich, Bray-2 e Bray-Kurtz modificado, com aplicação de fósforo (kg/ha de P_2O_5).

Coeficientes	Patrocínio	Monte Carmelo	Sacramento	Uberaba	
				'Santa Rosa'	'IAC - 2'
			Mehlich		
Angular	0,0172	0,0161	0,0153	0,0383	0,0389
Linear	0,38	0,40	2,48	0,44	0,18
r^2	0,946**	0,958**	0,978**	0,989**	0,953**
			Bray - 2		
Angular	0,0261	0,0320	0,0304	0,0573	0,0567
Linear	0,70	-0,46	1,88	-0,14	0,13
r^2	0,970**	0,981**	0,968**	0,987**	0,978*
			Bray-Kurtz modificado		
Angular	0,0328	0,0360	0,0366	0,0660	0,0719
Linear	0,30	-0,32	4,7	1,44	0,02
r^2	0,958**	0,985**	0,992**	0,990**	0,952**

* Significativo, ao nível de 5%. ** Significativo, ao nível de 1%.

calagem (Patrocínio, 563 kg/ha; Monte Carmelo, 590 kg/ha; Sacramento, 632 kg/ha; Uberaba, «santa-rosa», 599 kg/ha e Uberaba «IAC-2», 630 kg/ha de P_2O_5) e em função das equações lineares entre fósforo recuperado pelos extratores e fósforo aplicado (Quadro 3), foi possível chegar aos níveis críticos para os locais estudados (Quadro 4).

Quadro 4. Nível crítico, em ppm, usando os extratores de Mehlich, Bray-2 e Bray-Kurtz modificado.

Locais	Mehlich	Bray - 2	Bray-Kurtz modificado
	ppm		
Patrocínio	10,1	15,4	18,8
Monte Carmelo	9,9	18,4	20,9
Sacramento	12,1	21,1	27,8
Uberaba			
'Santa Rosa'	23,4	34,2	41,0
'IAC - 2'	24,7	35,8	45,3

Em consequência da menor capacidade de extração do extrator de Mehlich, sendo menor a amplitude dos teores de P (Quadro 2), os níveis críticos para esse elemento, nesses solos, são menores que os obtidos pelos outros extratores (Quadro 4). Verifica-se ainda uma tendência de aumento desses níveis com a diminuição do teor de argila no solo (Quadros 1 e 4), como também foi observado por Martens *et alii* (1969), Vidor & Freire (1971) e Novais (1977).

A extrapolação dos níveis críticos obtidos (Quadro 5) para outros solos deve ser feita com algum fundamento teórico. Dessa maneira, de acordo com as sugestões de Novais (1977), esses níveis foram correlacionados com alguns parâmetros que refletem o fator capacidade de fósforo. As correlações foram feitas com as características: teores de areia, de argila, água retida a 1/3 e a 15 bar de tensão (Quadro 1). Para o cálculo das equações lineares (Quadro 5), que traduzem a relação entre as variáveis (nível crítico e parâmetros que refletem o fator capacidade de P do solo), os níveis críticos obtidos para o cultivar «IAC-2», em Uberaba, foram também usados nos cálculos, por causa da grande semelhança destes com aqueles para o cultivar «santa-rosa».

As informações apresentadas no quadro 5 podem ser consideradas sob dois aspectos: tipo de extrator e parâmetros relativos ao fator capacidade. Para o extrator, verifica-se que os níveis críticos obtidos com o Bray-Kurtz modificado foram os que menos se ajustaram ao sistema proposto; seus coeficientes de determinação foram os menores, embora estatisticamente significativos. Por outro lado, dentre os parâmetros testados, o teor de areia pode ser considerado como sendo de pior ajustamento, embora também com coeficientes de determinação estatisticamente significativos.

Quadro 5. Relação linear entre nível crítico e teores de areia e argila, água retida a 1/3 e a 15 bar de tensão.

Coeficientes	Areia	Argila	Água retida	
			1/3bar	15bar
%				
Mehlich				
Angular	0,224	- 0,266	- 0,743	- 0,863
Linear	5,85	28,90	29,21	29,12
r ²	0,919*	0,969**	0,978**	0,988**
Bray - 2				
Angular	0,286	- 0,340	- 0,944	- 1,087
Linear	12,02	41,41	41,72	41,46
r ²	0,919*	0,978**	0,977**	0,970**
Bray-Kurtz modificado				
Angular	0,347	- 0,419	- 1,166	- 1,348
Linear	15,02	51,04	51,44	51,18
r ²	0,844*	0,929**	0,929**	0,928**

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

Outro aspecto a ser discutido será a quantidade de P a ser adicionada para que o solo atinja seu nível crítico. Para os solos estudados, a determinação das quantidades de P a serem aplicadas pode ser obtida ao dividir a diferença entre o nível crítico e o teor de P «disponível» existente no solo pelo coeficiente angular (Quadro 3). O resultado seria em kg/ha de P_2O_5 a ser aplicado a lanço. No entanto, isso é válido, de princípio, somente para os solos estudados: para outros, novos coeficientes angulares deverão ser obtidos e testados nesse sistema. A declividade das retas obtidas entre o fósforo recuperado pelos extratores e o fósforo aplicado (Quadro 3) também é, de acordo com os dados obtidos por Novais (1977), função dos parâmetros do fator capacidade. Equações lineares (Quadro 6) foram também ajustadas entre as declividades das retas (Quadro 3) e os teores de areia, de argila, água retida a 1/3 e a 15 bar de tensão (Quadro 1). Os coeficientes angulares relativos ao cultivar «IAC-2», em Uberaba, também foram usados nos cálculos dessas equações.

Por elas (Quadro 6), torna-se possível chegar ao coeficiente angular da reta que expressa a relação entre o fósforo recuperado pelos extratores e o aplicado, necessária para o cálculo da quantidade de P a ser recomendada.

A aplicação prática dos aspectos discutidos pode ser visualizada por exemplo hipotético seguinte: para um solo qualquer, a análise química revelou 5 ppm de P «disponível» pelo extrator de Mehlich. Foi feita também uma análise textural, que mostrou que solo apresentava 60% de argila. Com essas informações, torna-se possível chegar ao nível crítico de P desse solo e saber que quantidade desse elemento deve ser adicionada para que esse nível seja atingido. Para cálculo do nível crítico, toma-se a equação $\hat{Y} = 28,90 - 0,266x$, onde x é o teor de argila e, $\hat{Y}$, o nível crítico (Quadro 5). Substituindo x por 60, chega-se a um nível crítico de 12,9 ppm. Conhe-

cendo o nível crítico, sabe-se a quanto o teor de P no solo deverá ser elevado ($12,9 - 5 = 7,9$ ppm). Pela equação $\hat{Y} = 0,04648 - 0,000441x$, onde x é o teor de argila e, $\hat{Y}$, a declividade da reta que traduz a relação entre o P recuperado pelo extrator de Mehlich e o P aplicado (Quadro 6), pode-se chegar ao coeficiente angular da equação linear que expressa a relação entre o P recuperado e o P aplicado, para esse solo. O coeficiente angular, nesse exemplo, será 0,0200. Para o cálculo da quantidade de P a ser aplicada para que o nível crítico seja atingido, basta dividir 7,9 por 0,0200. Nesse solo deverão ser aplicados 395 kg/ha de P_2O_5 a lanço.

Quadro 6. Relação linear entre os coeficientes angulares das equações lineares entre fósforo recuperado pelos extratores e fósforo aplicado, e teores de areia e argila, água retida a 1/3 e a 15 bar de tensão.

Coeficientes	Areia	Argila	Água retida	
			1/3 bar	15 bar
		%		
		Mehlich		
Angular	0,000381	-0,000441	-0,001234	-0,001437
Linear	0,00787	0,04648	0,04704	0,04694
r ²	0,953**	0,960**	0,973**	0,988**
		Bray - 2		
Angular	0,000479	-0,000557	-0,001548	-0,001781
Linear	0,01877	0,06744	0,06795	0,06750
r ²	0,982**	0,999**	0,999**	0,990**
		Bray-Kurtz modificado		
Angular	0,000580	-0,000677	-0,001889	-0,002185
Linear	0,02233	0,08144	0,08216	0,08178
r ²	0,954**	0,981**	0,986**	0,987**

** Significativo ao nível de 1%.

Embora a metodologia proposta se constitua num sistema que permite calcular quantidades de P a serem recomendadas, que variam de maneira contínua com os parâmetros relativos ao «Fator capacidade» e ao teor de P na análise química, uma tabela-distribuição des-

continua nos moldes de quantidades preestabelecidas de argila e elemento no solo (extrator de Mehlich) possibilita visualização global dos resultados obtidos com o emprego dessa metodologia (Quadro 7). Observam-se, em geral, decréscimos nas quantidades de P necessárias para atingir o nível crítico do solo com o aumento dos teores de argila e do elemento na análise do solo. Esses decréscimos, exceto quando o solo não dispõe de P ou quando seu teor é inferior a 1 ppm, acentuam-se com a quantidade de argila, o que corresponde a decréscimo do nível crítico.

Logicamente, para elevar um nível de P «disponível», inicialmente igual em dois solos com texturas diferentes, para um mesmo nível final, a quantidade de P requerida será bem maior para o solo argiloso. Entretanto, para elevar o nível inicial para o nível de disponibilidade ótima, isso normalmente não acontece. Assim, com o aumento do teor de argila no solo dois aspectos de efeitos opostos sobre a quantidade ótima de P recomendada. Um é o decréscimo do nível crítico e, o outro, o aumento da quantidade de P requerida para elevar 1 ppm do P recuperado pelo extrator. Deve-se considerar ainda que, por exemplo, 8 ppm de P «disponível» pelo extrator de Mehlich, num solo com mais de 80% de argila, representam um «grande fator quantidade de P», capaz de suprir de maneira adequada a necessidade de uma planta, porém esse nível de 8 ppm será inadequado em solos com baixos teores de argila.

Para teores de P em torno de 1 ppm, as quantidades recomendadas apresentam decréscimos pouco significativos, em termos práticos, para a maior parte dos teores de argila estabelecidos. Pode-se verificar então que, para a faixa de teores de argila dos solos estudados, 18,8% no de Uberaba a 74,8% no de Patrocínio (Quadro 1), e para as condições de P «disponível» pelo extrator de Mehlich, em torno de 1 ppm — teor comum nos solos sob cerrado em geral — as quantidades de P requeridas parecem não depender tanto do teor de argila no solo ou de seu nível crítico, sendo de 600 kg/ha de P_2O_5 , aproximadamente.

Quadro 7. Quantidades ótimas de P_2O_5 , em kg/ha, de uma fonte solúvel, aplicada a lanço, para se ter a produção máxima de soja.

Níveis críticos esperados - Extrator de Mehlich	Argila	Análise do solo									
		0	1	2	4	8	12	16	20	24	28
ppm	%	ppm									
26,2	10	624	600	576	529	434	338	243	148	53	—
23,6	20	626	600	573	520	414	307	201	95	—	—
20,9	30	629	599	569	509	389	268	148	28	—	—
18,3	40	633	598	564	494	356	217	78	—	—	—
15,6	50	639	598	557	475	311	147	—	—	—	—
12,9	60	646	596	546	447	247	47	—	—	—	—
10,3	70	659	594	530	402	146	—	—	—	—	—
7,6	80	680	591	502	323	—	—	—	—	—	—
5,0	90	730	583	436	141	—	—	—	—	—	—

LITERATURA CITADA

- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. - Relação entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado. I - Trabalhos de laboratório. *Rev. Ceres*, 19: 124-136, 1972.
- BRAY, R.H. - Correlation of soil tests with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirements. In: Kitchen, H.B., ed. *Diagnostic techniques for soils and crop*. Washington, The American Potash Institute, 1948. p.53-85.
- EMBRAPA, Relatório técnico anual. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Brasília (DF), 1976. 150p.
- FONSECA, R.; DIAS, A.C.; PINTO, A.; PIRES, E.; MIRANDA, E.; CABALA, P. & SANTANA, C. - Correlações dos teores de fósforo nos solos com resposta de micro-parcelas de milho na zona cacauzeira da Bahia. *Pesq. Agrop. bras.* 3: 235-242, 1968.
- GRIMM, S.S. & FOLE, D.S. - Calibração de métodos químicos para fósforo em função da máxima eficiência econômica. *Agron. Sulriograndense*, 8: 195-206, 1972.
- LOPES, A.S. & COX, F.R. - A survey of the fertility status of surface soils under «cerrado». *Vegetations in Brazil*. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 41: 742-747, 1977.
- MARTENS, D.C.; LUTZ, J.A. & JONES, G.D. - Form and availability of P in selected Virginia soils as related to available P tests. *Agron. J.*, 61: 616-621, 1969.
- MATTINGLY, G.E.G. - The influence of intensity and capacity factors on the availability of soil phosphate. *Soil phosphorus*. Great Britain, Min. Agric. Fish. Food. Tech. Bull., 13: 1-9, 1965.
- NOVAIS, F.R. - Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils. Tese de Ph.D. Department of Soil Science North Carolina State University, Raleigh, 1977. 153p.
- VAN RAIJ, B. & MASCARENHAS, H.A.A. - Calibração de potássio e fósforo em solo para soja. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo*. Campinas, 1975. p.309-315.
- VERDADE, F.C.; VENTURINI, W.R.; AMARAL, A.Z. & WUTKE, A.C.P. - Níveis de fertilidade do solo para a cultura algodoeira. II - Correlação entre a produção e o teor de fósforo no solo. *Bragantia*, 25: 41-44, 1966.
- VETTORI, L. - Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, E.P.F.S.-MA., 1969. 19p. (Bol. n.º 7).
- VIDOR, C. & FREIRE, J.R.J. - Calibração de análises de solo para cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agron. Sulriograndense*, 7: 63-72, 1971.

COMPARAÇÃO DE CINCO EXTRATORES DE FÓSFORO DO SOLO, CONSIDERANDO-SE O TEMPO DE INCORPORAÇÃO DE TRÊS ADUBOS FOSFATADOS ⁽¹⁾G.J. SFREDO ⁽²⁾; C.M. BORKERT ⁽²⁾; D.S. CORDEIRO ⁽²⁾; J.B. PALHANO ⁽²⁾ & R.C. DITTRICH ⁽²⁾

RESUMO

De 1975 a 1977 efetuou-se experimento testando três adubos fosfatados: superfosfato triplo, fosfato-de-gafsa e fosfato-de-patos-de-minas, nas doses seguintes: zero, 80, 160, 320 e 640 kg/hectare de P_2O_5 total. As unidades experimentais foram divididas a partir do segundo ano em duas subparcelas, para verificar o efeito residual (fósforo incorporado no primeiro ano) e residual + manutenção (70 kg/hectare de P_2O_5 aplicado a lanço e incorporado ao solo com enxada rotativa). De cada subparcela aos 163, 347, 527 e 686 dias após a incorporação dos fosfatos, foi extraída uma amostra de solo, composta de 20 subamostras, com as seguintes soluções: Mehlich, Bray-1, Bray-2, Bray-Kurtz modificado e Olsen. Com a incorporação de superfosfato triplo, todos os extratores foram eficientes em recuperar fósforo. O aumento nos teores de P corresponde ao aumento da produção na amostragem aos 163 dias. A partir desse ponto, somente o Bray-Kurtz modificado continuou extraíndo teores elevados de fósforo; no fosfato-de-gafsa, os métodos Bray-2, Mehlich e Bray-Kurtz modificado extraíram fósforo em excesso na amostragem feita aos 163 dias, pois o aumento dos teores extraídos não correspondeu a um aumento na produção; no fosfato-de-patos-de-minas, as soluções de Bray-Kurtz e Mehlich, principalmente a última, extraíram fósforo em excesso em todas as amostragens efetuadas; houve tendência de todos os métodos se equivalerem na extração de P, a partir dos 527 dias após a aplicação dos fosfatos, independente do adubo. Em todas as fontes de fósforo estudadas, as soluções extratoras de Olsen e Bray-1 foram as mais estáveis na recuperação de fósforo do solo, em função do tempo de incorporação.

SUMMARY: COMPARISON OF FIVE PHOSPHORUS EXTRACTORS ACCORDING TO THE INCORPORATION TIME OF THREE PHOSPHATES

An experiment to test three phosphate sources (triple superphosphate, gafsa phosphate and patos-de-minas phosphate) was settled down in 1975. Rates of total P_2O_5 studied were zero, 80, 160, 320 and 640 kg/ha. Beginning in the 2nd year the experimental units turned into two subplots in order to evaluate either residual effects (P incorporated in the 1st year) or both residual plus 70

⁽¹⁾ Recebido para publicação em agosto de 1978 e aprovado em janeiro de 1979.

⁽²⁾ Pesquisadores da área de Nutrição Vegetal do CNPSoja-EMBRAPA, Londrina (PR).